doi:10.13866/j.azr.2019.04.27

玛纳斯河流域生态环境质量时空分异评价①

王莉红[1]，张军民[2,1]，陈文皓[1]，张亚如[1]，康紫薇[1]，师宏伟[1]
(1. 石河子大学理学院,新疆 石河子 832000; 2. 广西师范大学,广西 桂林 541001)

摘 要: 利用3S空间分析和地学统计分析方法,选取植被覆盖度、坡度、土壤等归一化生态指数,采用生态要素及功能叠加的转移矩阵模型,研究了新疆玛纳斯河流域生态要素及环境质量时空分异规律。研究得出:① 总体上玛纳斯河流域仍保持山地、绿洲、荒漠的空间分异格局,生态环境整体质量较差,但转好趋势明显,城乡建设格局变化决定着局地环境动态演变。② 人工绿洲、山前缓冲区生态质量最好但变化较快,农田内部的盐渍化虽然得到很好控制,但大量盐分被排入下游及周边,对自然绿洲造成新的危害。中山林草带植被覆盖、土壤恢复、水土保持较好。③ 2000—2008年流域生态环境质量缓慢好转,其中以生态环境质量由差转中为主,集中在古尔班通古特沙漠,虽然绿洲—荒漠过渡带生态恢复明显,但高山冰雪带不断萎缩;2008—2016年流域生态环境质量明显转好,其中以生态环境质量由中变良为主,集中在山前缓冲区,虽然山地—绿洲过渡带生态改善进程加快,但高山冰雪带仍持续退缩。

关键词: 生态环境质量; 归一化指数; 山地-绿洲-荒漠; 时空分异; 玛纳斯河流域

对区域生态环境科学认识、合理评价和优化调控,既是开展区域发展规划和生态环境保护的基础性工作,也是客观衡量区域健康可持续发展的重要标准[1-3]。2015年国家颁布了最新版的《生态环境状况评价技术规范》(HJ192-2015),评价指标涵盖生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地胁迫及污染负荷等生态环境指数(EI),为生态环境质量评价提供了科学规范的技术标准。

在20世纪中后期国外开始研究生态环境评价的理论、方法及应用问题。美国著名生态学家Holder和Westman最早提出了生态服务价值评估的概念,美国环保局开展的环境监测与评价项目(EMAP),为政府间开展生态环境评价提供了规范性标准。这些研究主要关注不同尺度上的生态质量及其动态变化,用多时相遥感影像及景观格局分析方法构建区域性评价模型,评估生态系统及其变化的脆弱性、敏感性及适宜性[4-6]。国内研究开始较晚但进展较快,主要针对不同地方或区域的生态退化问题或功能规划等开展实证性研究或诊断性分析。该研究一般根据特定问题或评估目的,选择具有独立性、代表性、有效性和可操作性指标(体系)及综合评价方法,对生态环境质量状态及动态变化规律进行分析,以多源遥感数据和GIS空间分析技术为支撑,集成自然生态系统及人类社会发展功能属性,用空间叠加计算方法分析生态环境状态及其质量变化[7-8]在不同行政单元尺度上的生态环境质量问题。研究内容上,重点解决评价指标的选择、服务功能及其价值核算、生态风险预警及防范、生态功能区划与区域发展规划等问题,揭示生态风险预警、规避及防治的机理及方法。研究尺度涵盖全球、区域或流域及省市级等[9-10]。研究方法也日趋多元化,主要基于GIS空间分析和遥感动态监测及分析平台,用数学物理模型开展敏感性、适宜性分析,采用神经网络及系统动力学等方法进行脆弱性、耦合性评价等。如基于主观客观转换的综合评判法、主成分分析法、层次分析法、神经网络方法等,以及基于压力-状态-响应的框架模型、生态足迹、遥感生态指数评价模型、景观生态学方法、评分迭加法等[11-12]。

国内生态环境质量评价的研究进展较快,成果也较丰富,但基本上是基于特定区域、特殊问题的实证分析和静态研究,无法准确评价和预测区域生态

① **收稿日期:** 2018-10-08; **修订日期:** 2019-03-05
基金项目: 国家自然科学基金(41761030)
作者简介: 王莉红(1994-),女,硕士研究生,研究方向为绿洲景观生态安全与绿洲城市化. E-mail: wanglihong_xj@126.com
通讯作者: 张军民. E-mail: zjm_tea@shzu.edu.cn

环境质量时空动态变化;评价指标多以专家决策和现场评估为依据,指标选择与赋权的主观性和合理性受到质疑,未形成统一规范的评价指标体系;空间尺度多以行政区划为界,指标选择、时空尺度及评价标准、计量模型的时效性、可比性有限,严重影响了评价理论、方法的创新及成果的应用。玛纳斯河流域具有干旱区典型的山地—绿洲—荒漠生态系统结构和绿洲社会经济系统,也是新疆水资源供需矛盾、生态环境退化问题较突出的地区,其水土资源开发、城镇化建设对生态环境的胁迫一直是学界关注的焦点[13-16]。以玛纳斯河流域生态环境自然分异为基础,借助 GIS 和 ENVI 平台,用生态因子分析与综合评价相结合的方法,可实现多因子交互以及人地系统集成,避免了单一指标、行政划界及时空匹配等带来的研究局限,能更好地揭示干旱区内陆河流域生态环境质量分异及其动态变化规律。

1 研究区概况

新疆玛纳斯河流域(简称玛河流域)地理位置43°27′~45°21′N、85°01′~86°32′E,是由高山雪冰融水和山地降水补给形成的内陆河(图 1)。流域地表过程复杂,上游依连哈比尔尕山海拔5 243 m,

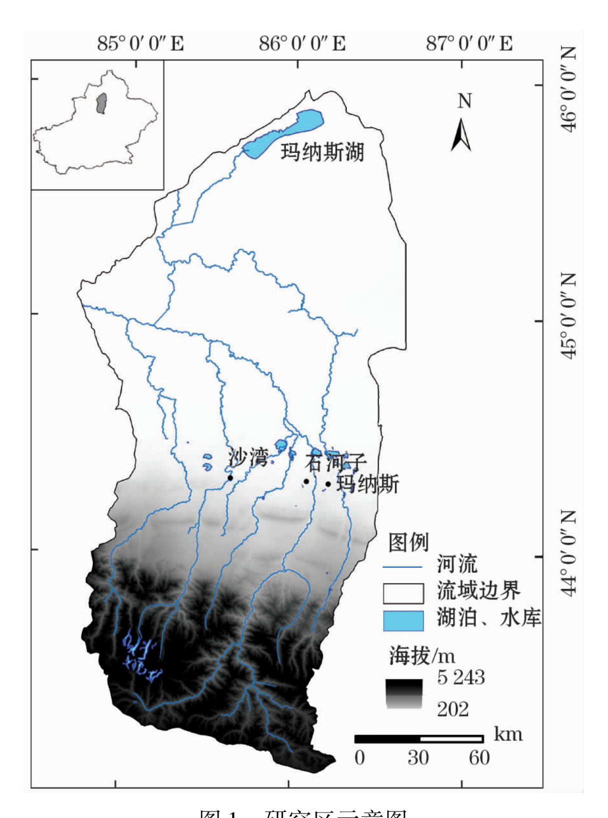


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

下游玛纳斯湖海拔 202 m,环境分异明显,由南向北依次流经高山、中山、低山丘陵及洪积扇、冲积扇、干三角洲平原等地貌单元,山地、绿洲、沙漠景观有规律分异;属典型的温带大陆性干旱气候,年平均气温 4.7~5.7 ℃,年降水量由山地的 500 mm,减少到河流末端的 100 mm,年蒸发量 1 500~2 100 mm,大于 10 ℃积温 2 400~3 500 ℃,年均风速 1.7 m·s^{-1}。

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源与处理

生态环境质量评价数据来自遥感影像 Landsat ETM+/OLI(表 1)。在 ENVI 5.3 和 GIS 10.3 软件的支持下,对 2000 年、2008 年和 2016 年 3 期影像数据进行辐射定标、图像融合、大气校正、边界裁剪等预处理,用面向对象的分类方法分别提取玛河流域地形坡度、植被覆盖度和土壤质量等分类(分级)信息,采用综合指数法对流域生态环境质量逐级进行评价。将生态环境质量等级评价图像进行矢量化处理,对每 2 期生态环境质量评价影像进行转移矩阵计算,通过分析自然要素的变化特征、趋势,综合评价流域生态环境质量动态变化规律及影响因子。

表 1 玛纳斯河流域遥感数据源

Tab. 1 Remote sensing data sources in the Manas River

年份	传感器	条带/行编号	时间选择
2000	ETM+	144/28,144/29,144/30	2000-08-07
2008	ETM+	144/28,144/29,144/30	2008-08-29
2016	OLI TIRS	144/28,144/29,144/30	2016-08-11

2.2 研究方法

2.2.1 综合指数评价方法 按照系统性、层次性和功能性原则,遵照国标《生态环境状况评价技术规范》(HJ192-2015),用加权指数法确定植被、土壤、坡度等各因子权重,得到:

$$E = 0.7 \times B1 + 0.2 \times B2 + 0.1 \times B3 \quad (1)$$

式中:E 为生态环境质量评价结果;$B1$ 为归一化植被覆盖度;$B2$ 为裸土植被指数;$B3$ 为坡度。

(1) $B1$:归一化植被覆盖度(FC)

$$FC = (NDVI - NDVI_{min}) \Big/ (NDVI - NDVI_{max}) \quad (2)$$

$$NDVI = \frac{Near\ IR - R}{Near\ IR + R} \tag{3}$$

式中:*NDVI* 为植被覆盖指数[17];*IR* 为近红外波段;*R* 为红外波段;其中 Landsat 7 中 *R* 波段为第 3 波段,*Near IR* 为第 4 波段;Landsat 8 中 *R* 波段为第 4 波段,*Near IR* 为第 5 波段。

(2) *B*2:裸土植被指数(*GRABS*)

$$GRABS = VI - 0.098\,178BI + 5.589\,59 \tag{4}$$

$$GRABS = b2 - 0.091\,78b1 \times 5.589\,59 \tag{5}$$

式中:*GRABS* 为裸土植被指数,用以表征土地质量等级;*VI* 代表缨帽变化中的 Brightness 波段;*BI* 代表缨帽变化中的 Greenness 波段;*b*1 即 Brightness 波段;*b*2 即 Greenness 波段。裸土植被指数越大,土壤质量越高。

(3) *B*3:坡度[18](*Slop*)

本文采用 ArcGIS 自带的坡度计算模型,拟合平面法计算坡度,模型原理是以高程点为中心的 3×3 格网窗口,按照自左向右,先上后下,对格网依次命名为,点 *e* 的坡度计算公式如下所示:

$$Slop = \tan\sqrt{Slop_x^2 + Slop_y^2} \tag{6}$$

式中:*Slop* 为坡度;$Slop_x$ 是 *x* 轴上的坡度;$Slop_y$ 是 *y* 轴上的坡度,像素为 225 m^2。

2.2.2 GIS 叠加分析 用更新空间要素及功能的叠加方法,即生态环境质量变化转移矩阵,来集成流域生态功能。主要是将不同年份分指标生态评价等级进行先叠加后融合的计算,测度多属性等级融合后的系统特征、综合规律及其动态变化。公式如下:

$$E_{2000} = [1,2,3,4];E_{2008} = [1,2,3,4];E_{2016} = [1,2,3,4]$$

$$E_{2000-2008} = \begin{pmatrix} 11 & \cdots & 14 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 41 & \cdots & 44 \end{pmatrix} \tag{7}$$

$$E_{2008-2016} = \begin{pmatrix} 11 & \cdots & 14 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 41 & \cdots & 44 \end{pmatrix} \tag{8}$$

式中:*E* 代表生态环境质量,E_{2000}、E_{2008}、E_{2016} 分别为玛河流域 2000 年、2008 年、2016 年生态环境质量;$E_{2000-2008}$、$E_{2008-2016}$ 分别为 2000—2008 年、2008—2016 年玛河流域生态环境质量转移矩阵;4、3、2、1 分别代表生态环境质量为优、良、中、差。

3 结果及分析

3.1 流域生态要素质量评价

3.1.1 植被覆盖时空变化 玛河流域自然植被主要是杨、柳、榆、梭梭、红柳、沙拐枣等,人工植被主要为农作物及城市绿地。根据玛河流域植被类型及分布特征,采用遥感监测法和植被归一化指数,将植被覆盖分为 4 类,高类(≥75%)、中高类(60% ~75%)、中类(45% ~60%)、低类(≤45%)(图 2)。

对比分析 2000 年、2008 年和 2016 年植被覆盖变化情况得出:

(1) 玛河流域植被覆盖度呈持续增加趋势。玛河流域植被覆盖度由 2000 年的 17.8% 增至 2008 年的 21.4%,2016 年达 33.1%,年均增加 24.1%。其中,2000—2008 年间增加 1 793 km^2,年均增加 224 km^2,2008—2016 年增加了 1 344 km^2,年均增加 168 km^2,人工绿洲持续扩大,但增量趋于减小。植被覆盖度变化量最大的是中游人工绿洲和山前过渡带,变化最小的是山区和沙漠边缘,反映了人类活动方式和强度决定流域植被覆盖,方向趋向于流域中上游。

(2) 棉花、玉米等农作物覆盖度增长最快。2000—2008 年,玛河中下游的下野地灌区和莫索湾灌区耕地面积扩大明显;而 2008—2016 年,中游绿洲和山前草地增加较快,增加区域集中在安集海灌区、石河子市及 142 团、143 团、151 团场的低山牧场。新型城镇化建设及农业现代化是植被盖度变化的主要动因。

3.1.2 土壤质地空间分异 玛河流域自然土壤为风沙土、灰漠土、棕漠土等类型,绿洲以灌耕沼泽土为主[19]。解译后的遥感影像经缨帽变化和归一化土壤指数处理,按照 2000 年权重百分比进行重分类,分类结果如图 3 所示。

分析 2000 年、2008 年和 2016 年土地质量变化情况得出:

(1) 空间分异:流域土质较差区域集中在上游冰冻区、下游玛纳斯湖附近,面积约 13 278.5 km^2,占玛河流域面积的 26.7%,山地冰雪消融及下游盐渍化扩大是主因。土质较好区域在中山林草带及中游人工绿洲,面积约 5 923.7 km^2,占 11.9%。山

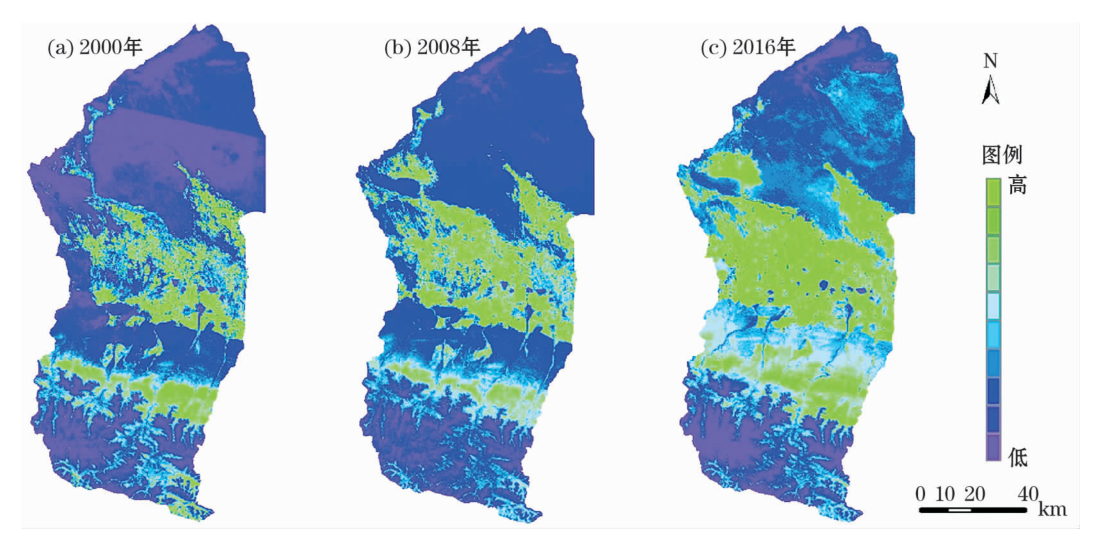


图 2 归一化植被指数

Fig. 2 Normalized vegetation index

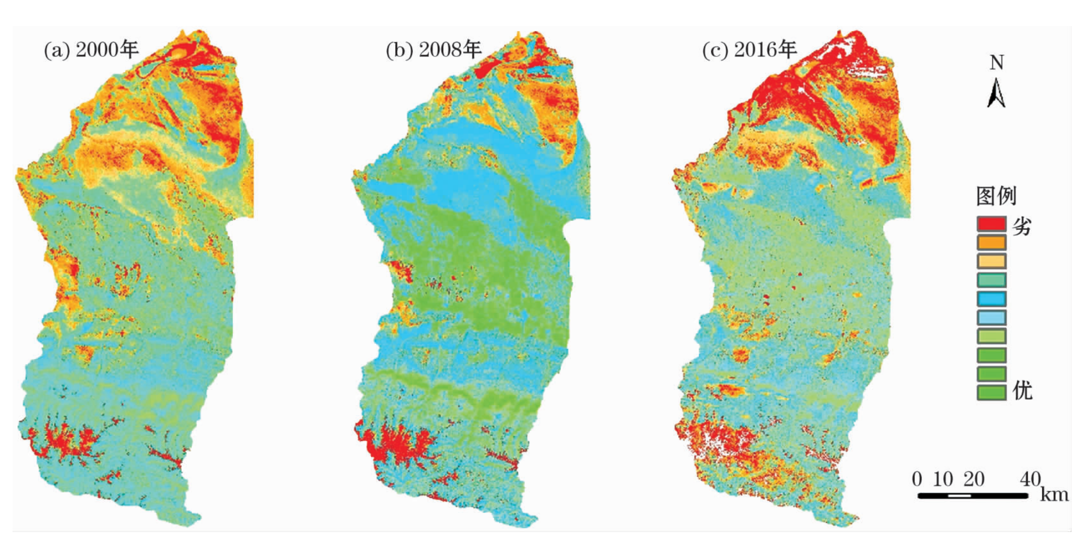


图 3 归一化土壤指数

Fig. 3 Normalized soil index

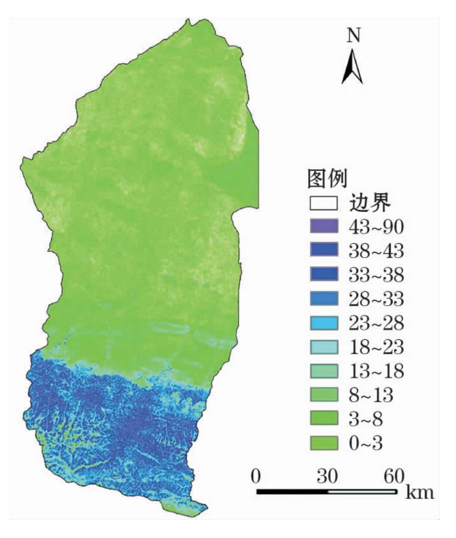


图 4 归一化坡度指数

Fig. 4 Normalized slope index

地—盆地过渡带、绿洲—荒漠过渡带质量居中且变化较大。

（2）时空变化:2000—2008 年玛河流域土壤质地整体变差,土质差的面积增加 12.4%,主要发生在两个过渡带,土质优的面积减少 7.9%,主要分布在农耕区。2008—2016 年整体变好,其中土质差的面积减少 13.3%,土质优的面积增加 6%,主要发生在过渡带及农耕区。流域生态退化得到有效遏制。

3.1.3 坡度分异 从解译后的 DEM 影像中提取坡度值,参照国家标准识别坡度分异特征(图 4):上游山地平均坡度大于 23°,海拔大于 1 400 m;其中山前缓冲区坡度介于 3°～23°,海拔 800～1 400 m;中游绿洲坡度介于 3°～8°,海拔介于 300～800 m,地势向西北方向微倾,水土光热匹配良好,适合灌溉农

业和城镇建设;下游绿洲—荒漠过渡带坡度介于0°~3°,海拔200~300 m,地势低平,光热充足,盐渍化、荒漠化严重。

3.2 生态环境质量综合评价

采用加权叠加工具将植被覆盖、土壤质量及坡度按等级定义安排进行加总加权,然后将生成的数据值进行重分类、重定等,最后根据干旱区生态环境质量定义及内陆河流域生态系统异质性特征(表2),按山地、绿洲、荒漠3类生态系统空间结构及位置关联性对生态环境质量及其时空分异格局进行综合评价[20](图5)。

表2 生态环境质量评价指标体系

Tab. 2 Index system of evaluating ecological environment

质量等级	综合指数	等级含义
差	$1 \leq E < 4$	生态系统结构不合理,植被覆盖较差,戈壁、沙漠、盐碱地广布,生态系统自身功能弱,生态系统的恢复与重建比较困难
中	$4 \leq E < 6$	生态系统结构基本合理,服务功能可维持基本运作,生态系统自身功能较弱,生态系统的恢复缓慢
良	$6 \leq E < 9$	生态系统结构基本完善,服务功能良好,生态环境受损程度较小,生态系统的自身功能和自我恢复能力较强
优	$9 \leq E < 10$	生态系统结构完整、稳定,植被覆盖度高,服务功能很好,生态几乎没有受损现象,生态系统的自身功能和自我恢复能力强

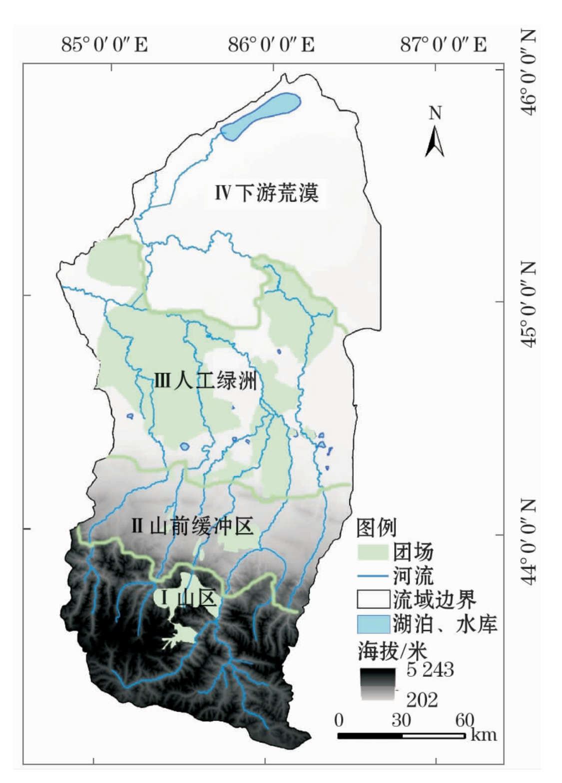


图5 地貌分区示意图

Fig. 5 Schematic diagram of geomorphologic division

3.2.1 空间分异 流域生态环境质量普遍较差,但局部好转。生态环境质量中、差的面积约占玛河流域的80%以上,其中中等区域占50%以上,集中在山前荒漠戈壁带、绿洲荒漠过渡带,质量差的区域占30%左右,主要分布在玛纳斯湖附近、古尔班通古特沙漠边缘以及高山冰冻区域,土地利用类型为裸地、裸岩、冰川等。生态质量优的区域集中在玛河流域中游绿洲垦区,以耕地、园地、林地为主;质量良的区域分布在中山林草带,面积约占5%(表3,图6)。

表3 单个指标因素分区交互评价

Tab. 3 Interactive evaluation of single-factor division

地区	坡度	土壤	植被	生态环境质量
Ⅰ上游山区	18°~90°	差	冰川低,部分高	冰川差,部分中
Ⅱ山前缓冲区	8°~23°	中	中高,高	良,优
Ⅲ人工绿洲	0°~8°	良	高	优
Ⅳ下游荒漠	0°~8°	差	低	大部分中等,部分差

(1)人工绿洲:质量最好,是流域生态环境的控制中枢。但内部盐渍化和周边沙漠化,总体趋好。随着节水灌溉技术和水利工程的不断完善及地下水资源的有效开发,以新型城镇化和工业化为核心的产业结构调整,使绿洲农耕区生态环境质量总体趋于良好。但由于城市经济活动不断向上游扩展,使山地、盆地过渡带生态环境质量变化复杂,城镇建设占用了大量农田及草地,城市绿洲又需要大量抽取地下水,加快了该带生态环境质量的人工化趋势,对流域中下游绿洲资源的配置和使用产生了潜在影响。同时绿洲—荒漠过渡带由于水环境持续恶化,生态修复面临长期压力;农田内部的盐渍化虽然得到很好控制,但大量盐分被排入下游及周边,会对自然环境造成新的危害。

(2)上游山区与山前缓冲区:质量较好,尤其是中山带森林及草原区,植被覆盖度、土壤质地、水土保持较好,林木砍伐、草地退化、山地侵蚀等得到有效遏制,灌草生长茂盛,生态恢复迹象明显。但高山雪冰带生态环境质量趋于退化,全球气候变暖加剧了山地冰川、积雪的融化,虽然短期有利于增加水资源补给,但却强化了高山冻融侵蚀、风化侵蚀、重力侵蚀等作用,使裸岩、裸土广泛出露,风化碎屑物增多,对山地产流、汇流及蓄渗等功能都造成不利影响。

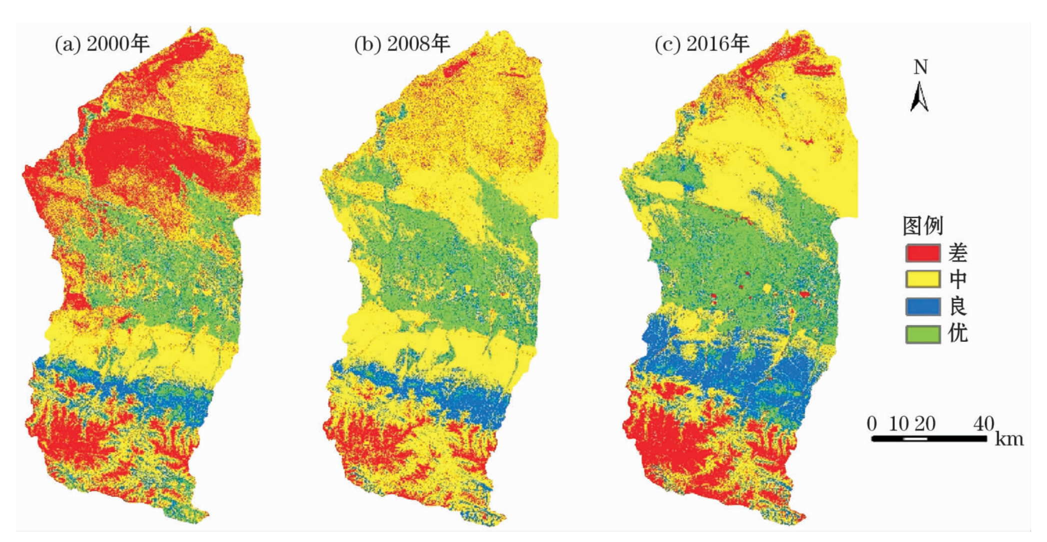


图 6　生态环境质量评价结果

Fig. 6　Evaluated results of eco-environmental quality

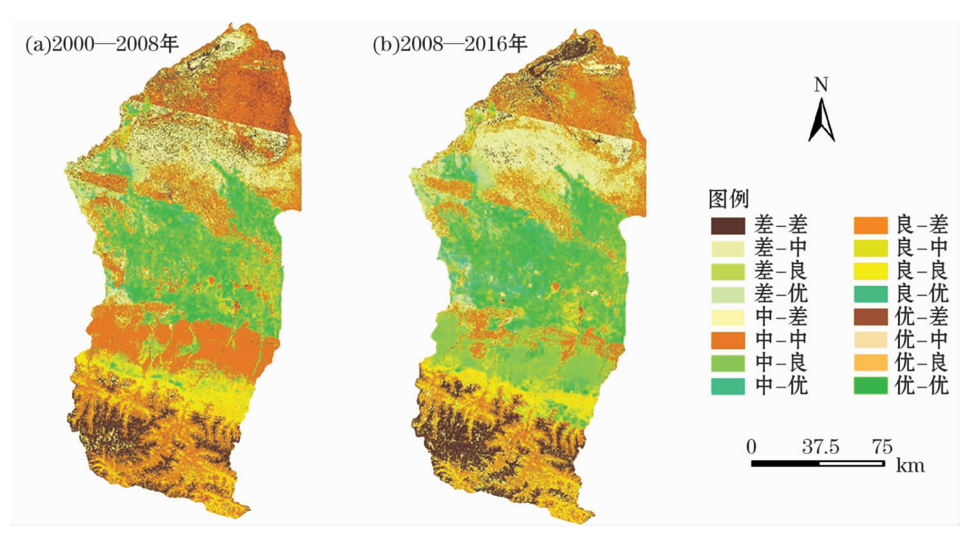


图 7　生态环境质量评价结果的转移矩阵

Fig. 7　Transfer matrix of evaluated results of eco-environmental quality

(3) 下游荒漠:流域下游荒漠位于古尔班通古特沙漠西南角,属固定和半固定沙漠,受水资源变化影响最强烈。绿洲引蓄排灌及城乡耗水不断增大,20 世纪 70 年代初尾閭湖完全干涸,生态环境质量不断恶化,近年又有改善迹象。

3.2.2　动态变化

(1) 2000—2008 年间玛河流域生态环境质量整体转好(图 7a,表 4)。其中,变差面积 2 511.37 km^2,占流域总面积的 7.4%;转好面积 10 317.76 km^2,占流域总面积的 30.4%,下游荒漠区生态环境质量转好趋势最为明显。其中生态环境质量由优转良的面积为 936.01 km^2,集中在农区及城市,生态环境质量由优变为中的面积为 111.97 km^2,分散在农垦区;生态环境质量由优变为差的面积为 0.13 km^2,主要在城乡结合部。生态环境质量由良变为中的面积为1 095.38 km^2,集中在中山带林草带,生态环境质量由良变为差的面积为 1.51 km^2,变化幅度较小;生态环境质量由中变为差的面积为 366.37 km^2,集中在玛纳斯湖附近。生态环境质量由良变为优的面积为 1 150.31 km^2,集中在农垦区;生态环境质量由中变为良的面积为 1 429.42 km^2,集中在中山林草带,生态环境质量由中变为优的面积为 785.37 km^2;生态环境质量由差变为良的面积为 319.1 km^2,生态环境质量由差变为中的面积为 6 315.66 km^2,生态环境质量由差变为优的面积为 317.9 km^2。

(2) 2008—2016 年玛河流域生态环境质量变差面积为流域总面积的 9.8%, 共计 3 314.67 km^2,

表 4　2000—2008 年生态环境质量变化面积转移矩阵

Tab. 4　Transfer matrix of changed areas of eco-environmental quality during the period of 2000 – 2008　/km²

		2000 年			
		优	良	中	差
2008 年	优	2 090.31	1 150.31	785.37	317.90
	良	936.01	2 513.18	1 429.42	319.10
	中	111.97	1 095.38	13 134.17	6 315.66
	差	0.13	1.51	366.37	3 321.41

表 5　2008—2016 年生态环境质量变化面积转移矩阵

Tab. 5　Transfer matrix of changed areas of eco-environmental quality during the period of 2008 – 2016　/km²

		2008 年			
		优	良	中	差
2016 年	优	2 235.52	1 155.13	1 476.63	559.99
	良	792.43	2 709.22	4 013.39	738.67
	中	103.80	857.17	8 700.37	5 750.19
	差	6.64	37.46	1 517.17	3 071.67

转好面积占流域总面积的 40.6%,共计 13 694 km²(图 7b,表 5)。整体明显转好,山前过渡带生态环境质量转好最为明显,高山冰川消融区生态环境质量恶化趋势最为明显。其中,生态环境质量由优变为良的面积为 792.43 km²,分散在人工绿洲和山前过度带;生态环境质量由优变为中的面积为103.8 km²,分散在绿洲;生态环境质量由优变为差的面积较少,为 6.64 km²;生态环境质量由良变为中的区域分散在山区,面积为 857.17 km²;生态环境质量由良变为差的面积为 37.46 km²;生态环境质量由中变为差的面积为 1 517.17 km²;生态环境质量由良变为优的面积为 1 150.31 km²,集中在玛河附近,分散在整个山区;生态环境质量由中变为良的面积为 1 429.42 km²,主要集中在山前过渡带;生态环境质量由中变为优的面积为 785.37 km²,分散在人工绿洲;生态环境质量由差变为中的面积为 5 750.19 km²,集中在古尔班通古特沙漠;生态环境质量由差变为良的面积为 738.67 km²,分散在下野地灌区;生态环境质量由差变为优的面积为 559.99 km²,集中在下野地灌区北部。

总体上,玛河流域生态环境质量仍保持山地、绿洲、荒漠的自然分异格局,城乡建设格局及功能的变化推动着局地环境动态演变,整体好转趋势明显。土地开发活动开始向上游山前的交错带转移,以城市建设扩张及山前各类园区(科技园区、设施农业、酒庄等)建设为主,下游荒漠周边的大规模开荒活动基本终止,退耕还林还草工程取得一定成效,流域下游生态系统得到修复与重建。近期流域开发进入稳定规模、调整结构、增强功能的内涵建设阶段,“十三五”强调生态文明建设使西部生态环境质量开始得到有效保护与修复。

4　结 论

(1) 玛河流域生态环境质量演变与水源的补给和人类活动的干扰密切相关,人为改良的绿洲以及有计划的向玛纳斯湖泊注水有利于生态环境质量的转好;冰川的消融,增加了河流的径流量,有利于整个流域植物的生长,但冰川消融会减少流域固定水资源储存量。植被覆盖、水源与玛河流域生态环境质量呈正相关,其中建成区不透水面的增加是影响城市生态环境质量变化的重要因素。绿洲受生境压力胁迫,过度的建成区空间扩张在一定程度上降低“绿洲冷岛”效应,扰乱小局部气候,近年来由于城市化进程的加快以及农业的发展,新疆绿洲的增温增湿作用明显,可见,植被是影响“绿洲冷岛”效应的重要因素。

(2) 不同生态环境质量的转移趋势分逐级转移和越级转移两种转移性质,逐级转移是一个循序渐进的过程,较为常见;越级转移过于明显,要根据实际情况进行具体分析,玛河流域生态环境质量越级转移面积较小。

参考文献(References):

〔1〕 傅伯杰. 地理学综合研究的途径与方法:格局与过程耦合. 地理学报〔J〕. 2014,69(8):1 052 – 1 059. 〔Fu Bojie. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes〔J〕. Acta Geographica Sinica,2014,69(8):1 052 – 1 059.〕

〔2〕 Running S W. A measurable planetary boundary for the biosphere〔J〕. Science,2012,337(6 101):1 458 – 1 459.

〔3〕 王传艺,林征. 2014 未来地球计划战略研究议程——全球可持续发展研究战略优先领域〔M〕. 北京:气象出版社,2015. 〔Wang Chuanyi,Lin Zheng. Strategic Research Agenda 2014: Priorities for a Global Sustainability Research Strategy〔M〕. Beijing: China Meteorological Press,2015.〕

〔4〕 Zhang J,Liu J,Zhai L,et al. Implementation of geographical conditions monitoring in Beijing-Tianjin-Hebei,China〔J〕. ISPRS International Journal of Geo-Information,2016,5(6):89.

〔5〕 Munawar S, Khokhar M F, Atif S. Reducing emissions from deforestation and forest degradation implementation in Northern Pakistan〔J〕. International Biodeterioration & Biodegradation, 2015, 102: 316 – 323.
〔6〕 Memon A A, Muhammad S, Rahman S, et al. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood – 2012〔J〕. Egyptian Journal of Remote Sensing & Space Sciences, 2015, 18(1): 99 – 106.
〔7〕 徐绍史. 国家新型城镇化报 2015〔M〕. 北京:中国计划出版社, 2016.〔Xu Shaoshi. New National Urbanization Report 2015〔M〕. Beijing: China Planning Press, 2016.〕
〔8〕 张沛, 徐海量, 杜清, 等. 基于 RS 和 GIS 的塔里木河干流生态环境状况评价〔J〕. 干旱区研究, 2017, 34(2): 416 – 422.〔Zhang Pei, Xu Hailiang, Du Qing, et al. Change of ecological conditions in the mainstream area of the Tarim River based on RS and GIS during the period of 1990 – 2010〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 416 – 422.〕
〔9〕 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理念、方法与应用〔M〕. 北京:中国人民大学出版社, 2008.〔Li Wenhua. Concept of Service Valuation of Ecosystem, Methods and Applications〔M〕. Beijing: China Renmin University Press, 2008.〕
〔10〕 Liu X H, Yan S. Evaluating and structuring indicators for wetland assessment〔J〕. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 2010, 4(2): 221 – 227.
〔11〕 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究——从理论到实践〔J〕. 资源科学, 2017, 39(3): 379 – 395.〔Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Yan Huimin, et al. A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th Century: From theory to practice〔J〕. Resources Science, 2017, 39(3): 379 – 395.〕
〔12〕 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析〔J〕. 地理学报, 2017, 67(12): 1 599 – 1 610.〔Sun Dongqi, Zhang Jingxiang, Zhu Chuangeng, et al. An assessment of China's ecological environment quality change and its spatial variation〔J〕. Acta Geographica Sinica, 2017, 67(12): 1 599 – 1 610.〕
〔13〕 杨萍, 彭羽, 刘雪华. 基于生态评估的新疆玛纳斯县域适宜性分析〔J〕. 清华大学学报(自然科学版), 2016, 56(8): 865 – 970.〔Yang Ping, Peng Yu, Liu Xuehua, et al. Urban development suitability evaluations based on ecological assessments: A case study of Manasi County, Xinjiang Province〔J〕. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition), 2016, 56(8): 865 – 970.〕
〔14〕 李杨, 刘艳, 张璞, 等. 古尔班通古特沙漠 NDVI 时空变化特征〔J〕. 干旱区研究, 2009, 26(5): 686 – 693.〔Li Yang, Liu Yan, Zhang Pu, et al. Research on the spatio-temporal change of NDVI in the Gurbantunggut Desert〔J〕. Arid Zone Research, 2009, 26(5): 686 – 693.〕
〔15〕 孙朋, 巩杰, 高彦净, 等. 干旱区流域绿洲时空变化及其景观响应〔J〕. 干旱区研究, 2014, 31(2): 355 – 361.〔Sun Peng, Gong Jie, Gao Yanjing, et al. Spatiotemporal change of oases and their landscape response in arid areas in Northwest China〔J〕. Arid Zone Research, 2014, 31(2): 355 – 361.〕
〔16〕 张军民. 基于 MODS 耦合的新疆玛纳斯河流域生态安全问题研究〔J〕. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 49 – 53.〔Zhang Jumin. Ecology security problem based on oasis circle level structure, Manasi Basin in Xinjiang〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(11): 49 – 53.〕
〔17〕 孙家抦. 遥感原理与应用〔M〕. 3 版. 武汉:武汉大学出版社, 2013.〔Sun Jiabing. Principles and Applications of Remote Sensing〔M〕. 3rd ed. Wuhan: Wuhan University Press, 2013.〕
〔18〕 郭鹏, 刘洪斌, 白洁, 等. 1∶1 万数字高程模型的建立及坡度分析〔J〕. 国土与自然资源研究, 2004(1): 42 – 44.〔Guo Peng, Liu Hongbin, Bai Jie, et al. Establishment and slope analysis of 1∶10 000 digital elevation model〔J〕. Territory & Natural Resources Research, 2004(1): 42 – 44.〕
〔19〕 王巧焕, 卢玉东, 赛佳美, 等. 干旱区绿洲土壤盐分特征〔J〕. 干旱区研究, 2018, 35(3): 503 – 509.〔Wang Qiaohuan, Lu Yudong, Sai Jiamei, et al. Characteristics of soil salinity in arid oasis〔J〕. Arid Zone Research, 2018, 35(3): 503 – 509.〕
〔20〕 宋文杰, 张清, 刘莎莎, 等. 基于 LUCC 的干旱区人为干扰与生态安全分析——以天山北坡经济带绿洲为例〔J〕. 干旱区研究, 2018, 35(1): 235 – 242.〔Song Wenjie, Zhang Qing, Liu Shasha, et al. LUCC-Based human disturbance and ecological security in arid area: A case study in the economic zone on northern slope of the Tianshan Mountains〔J〕. Arid Zone Research, 2018, 35(1): 235 – 242.〕

Spatiotemporal Differentiation of Ecological Environment Quality in the Manas River Basin

WANG Li-hong[1], ZHANG Jun-min[2,1], CHEN Wen-hao[1], ZHANG Ya-ru[1], KANG Zi-wei[1], SHI Hong-wei[1]

(1. *School of Science*, *Shihezi University*, *Shihezi* 832003, *Xinjiang*, *China*;
2. *Guangxi Normal University*, *Guilin* 541001, *Guangxi*, *China*)

Abstract: The ecological environment and its spatial differentiation is the basis for the sustainable development in arid region, and it profoundly affects the socio-economic and healthy development pattern in oasis. As a typical inland drainage basin, the Manas River Basin was taken as the research area, and the 3S spatial analysis and geostatistical analysis were used to select the normalized ecological indexes (such as vegetation coverage, slope and soil), and the transfer matrix model of superposition of ecological factors and functions was applied to analyze the spatiotemporal differentiation of ecological factors and environmental quality in the Manas River Basin in Xinjiang. The results could be concluded as follows: ① In general, the spatial differentiation pattern of mountains, oases and deserts was still maintained in the Manas River Basin, the overall quality of the ecological environment was poor, but there was an improving trend. The change of urban and rural construction pattern determined the dynamic evolution of local environment. ② The ecological environment quality of artificial oasis, mountainous area and piedmont buffer zone was the best, especially the vegetation coverage, soil restoration and soil and water conservation of mountain forest and grassland. The ecological quality of artificial oasis was the best, but the change was significant. Although soil salinization was controlled well, a big amount of salt was discharged into the downstream and surrounding areas, thus some new disasters were resulted in the natural oases. ③ During the period of 2000 – 2008, the ecological environment in the drainage basin was slowly improved. Although the ecological regeneration in the oasis-desert ecotone was obvious, the shrinkage of alpine ice-snow continued. The ecological environment in the drainage basin was improved significantly during the period of 2008 – 2016.

Key words: eco-environmental quality; normalized index; mountain-oasis-desert; spatiotemporal differentiation; Manas River Basin